

超音波홀로그램에 의한 非破壞檢査

尾上守夫*・孫珍鉉

A Study of Non-Destructive Testing by means of
Ultrasonic Holography

Morio Onoe · Jin-Hyeon Son

〈目 次〉

Abstract	2) 制御装置와 데이터의 收集
1. 序 論	3) 目標物體
2. 再生의 理論	4. 缺陷의 再生像
3. 온라인 데이터 收集	5. 結 論
1) 超音波의 送受信器	參考文獻

Abstract

With emphasis on the investigation of the shape of defect in the field of non-destructive testing, the image formation of ultrasonic holography has been studied.

Traditionally, there have been two main methods for the generation of ultrasonic images. One is the liquid-surface real time holography by LASER ray; the other is the scanning holography with the hologram recorded in the film. But as these are the optical or analogical reconstruction of images, they are hardly expected to improve the images any more.

This paper proposed a method of obtaining holograms enabling to improve the images where the images are obtained by digital processing of the ultrasonic holograms through on-line data acquisition by scanning the array receivers.

Illustrated here are reasonable results of digital reconstruction of the images with the shape of defect of object.

1. 序 論

超音波를 利用한 非破壞檢査는 超音波의 펄스反射法, 빔에 의한 指向角法 等⁽¹⁻³⁾이 많이 使用되고 있다. 主로 使用되는 펄스反射法은 깊이方向의 分解能이 펄스의 時間分解로 이루어지므로 長點이 많

* 東京大學 生産技術研究所 教授

으나, 橫方向 即 面的인 分解能은 探觸子의 크기의 制約으로 充分하지 않다. 그러나 最近에는 破壞力學的 見地에서 缺陷의 形狀을 重視하는 傾向이 있고, 橫方向의 分解能이 卓越한 超音波 홀로그래피의 研究가 進行되고 있다.

從來의 非破壞檢査에 있어서는 超音波홀로그래피는 液面에 依한 레이저光의 回折을 利用한 實時間再生方法⁽⁴⁾과 機械的인 走査로 필름에 홀로그래를 記錄하여 光學的으로 再生하는 方法⁽⁵⁾ 등이 報告되어 있으나, 이들 方法은 다 에너지的인 再生이며 더 以上の 畫質의 向上을 期待할 수 없다.

最近 IC, LSI, 마이크로·프로세서⁽⁶⁾ 등의 進歩로 디지털演算裝置와 記憶裝置의 價格이 急激히 低下되어 超音波홀로그래피의 디지털再生⁽⁷⁾의 實用性이 높아지고 있다. 또 最近發達하고 있는 디지털畫像處理의 技術을 應用함으로써 畫質의 改善도 期待할 수 있다.

本 研究에서는 超音波펄스가 缺陷이 있는 被測定體를 通할 때 回折로 形成된 超音波홀로그래피를 온라인으로 마이크로計算機에 디지털로 收集하고, 다시 미니計算機로 디지털處理와 再生을 하는 方法과 其의 結果를 보였다.

2. 再生의 理論

그림 1 과 같이 送信子 T에서 發射한 超音波펄스波가 被測定體 U를 貫通할 때 缺陷層에서 回折하며, 홀로그래피面 H에서 複素振幅의 데이터를 收集하면 다음의 關係式이 成立한다.

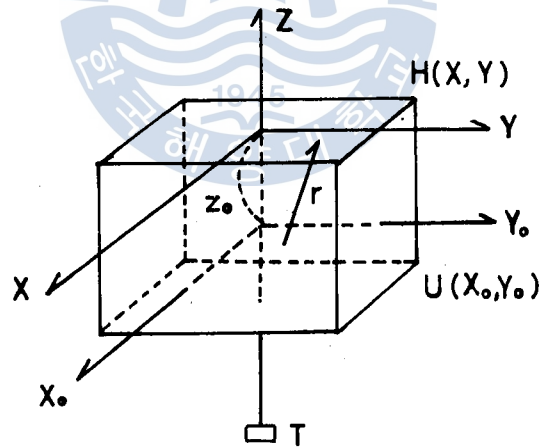


Fig. 1. Geometry for the non-destructive testing by the ultrasonic holography. .
U & H illustrate object & hologram respectively and T, the transmitter

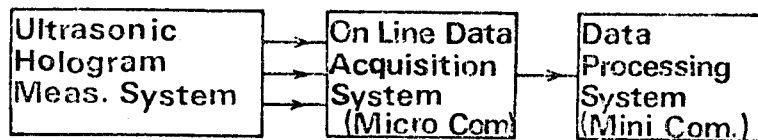


Fig. 2. Block diagram of the whole system for ultrasonic holography

U面內와 H面內의 任意點間의 距離를 r 라 하고, $\left(\frac{x-x_0}{Z_0}\right)^2 + \left(\frac{y-y_0}{Z_0}\right)^2 \ll 1$ 이 成立하면 다음의 近似式인 (1)式을 얻는다.

$$r \approx Z_0 \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{x-x_0}{Z_0} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{y-y_0}{Z_0} \right)^2 \right] \quad (1)$$

但, Z_0 는 U面과 H面間의 距離

(1)式이 成立하고 被測定體의 缺陷面의 情報와 홀로그래프를 各各 $U(x_0, y_0)$ 및 $H(x, y)$ 라 하면, 回折式은 다음의 (2)式과 같이 表示된다.

$$H(x, y) = \frac{\exp(jkZ_0)}{j\lambda Z_0} \exp\left\{ \frac{jk}{2Z_0} (x^2 + y^2) \right\} \cdot \iint_{-\infty}^{\infty} U(x_0, y_0) \exp\left\{ \frac{jk}{2Z_0} (x_0^2 + y_0^2) \right\} \exp\left\{ -\frac{jk}{Z_0} (xx_0 + yy_0) \right\} dx_0 dy_0 \quad (2)$$

(2)式中 $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ 이고, yH面에서 x方向과 y方向의 空間周波數를 各各 다음 (3)式의 f_x, f_y 로 取하면,

$$f_x = \frac{x}{\lambda Z_0}, \quad f_y = \frac{y}{\lambda Z_0} \quad (3)$$

(2)式의 積分式은 다음의 (4)式과 같이 $U(x_0, y_0) \exp\left\{ \frac{jk}{2Z_0} (x_0^2 + y_0^2) \right\}$ 의 푸리變換式($F[\quad]$)이 된다.

$$H(x, y) \cdot \left[\frac{\exp(jkZ_0)}{j\lambda Z_0} \exp\left\{ \frac{jk}{2Z_0} (x^2 + y^2) \right\} \right]^{-1} = F \left[U(x_0, y_0) \exp\left\{ \frac{jk}{2Z_0} (x_0^2 + y_0^2) \right\} \right] \quad (4)$$

物體의 情報, 即 缺陷의 像은 (4)式에서 常數項을 除外하고, 푸리逆變換($F^{-1}[\quad]$)을 하고, 다시 強度를 얻기 위하여 平方의 平方根을 取하면 다음의 (5)式과 같다.

$$|U(x_0, y_0)| = \sqrt{\left[F^{-1} \left[H(x, y) \cdot \left\{ \exp\left\{ \frac{jk}{2Z_0} (x^2 + y^2) \right\} \right\}^{-1} \right] \right]^2} \quad (5)$$

3. 온라인 데이터收集

本實驗의 全體構成圖는 그림 2와 같이 홀로그래프의 複素振幅인 데이터는 마이크로計算機에 온라인으로 收集하고 미니計算機에 依하여 디지털處理와 CRT에 디스플레이(display)를 하였다.

(1) 超音波의 送受信器

데이터測定에 使用한 受信器는 두께 0.5 mm, 2 mm×2 mm의 角形으로 切斷한 세라믹(ceramics; NO. 316)을 使用하였고, 데이터收集時間을 短縮하기 爲하여, 이것을 2個 配列한 어레이受信器를 使用하였으며, 그림 3에 보인 水槽上部의 것이 受信器이다. 送信子도 같은 세라믹으로 된 $\phi=3$ mm의 振動子를 使用하였고, 이것은 그림 1의 T와 그림 3의 水槽下部의 것에 該當한다.

(2) 制御装置와 데이터의 收集

複素振幅의 데이터를 測定하고 收集하는 制御装置를 그림 3에 나타내었다. 이것은 受信器가 走査할 때 每 샘플間隔(1 mm)마다 受信器의 位置를 나타내는 클럭펄스(clock pulse)에 依하여 시퀀스 制御를 한다. 이 制御装置內의 어레이 受信器의 制御部에서 한 리드리레이(reed relay)에 制御펄스(펄스 幅; 4 m sec)가 入力한 뒤 이 펄스幅의 $\frac{1}{2}$ 時間後 그림 4의 高周波펄스形成器에서 物體照射用의 高周波(4.1813 MHz)에 同期되어나온 高周波펄스(펄스 幅; $16 \mu\text{sec}$)를 增幅해서 送信子에 보낸다. 여기서 發生한 超音波펄스는 水中을 지나 物體內에서 回折하고, 受信器에서 그 位置의 複素振幅波를 受信하여 리드리레이의 入力펄스로 導電된 그의 리도리레이를 거쳐 增幅되고 高周波의 位相을 基準으로 同期檢波를 하여 同相成分(實數部)와 直交成分(虛數部)의 데이터를 얻는다. 샘플홀드(sample hold; H 5110)는 實數部 收集의 샘플링 펄스 遲延($5 \mu\text{sec}$)과 그 다음의 虛數部 收集의 遲延($10 \mu\text{sec}$)의 關係로 설정하였다.

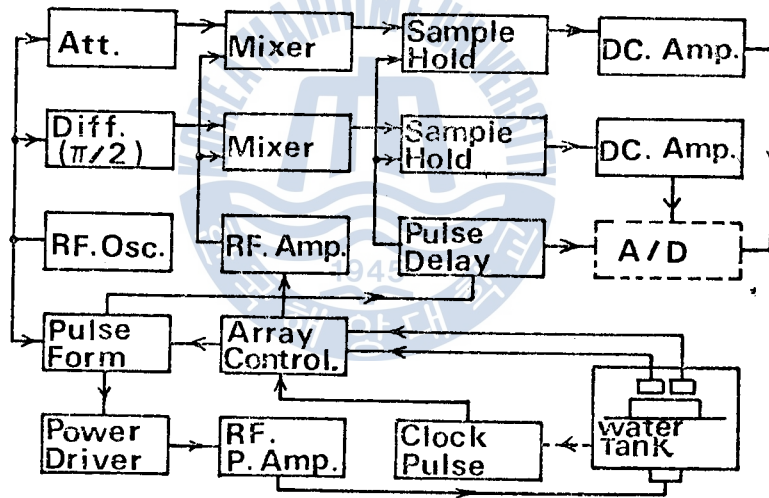


Fig. 3. Block diagram of measurement and controlling system for ultrasonic hologram

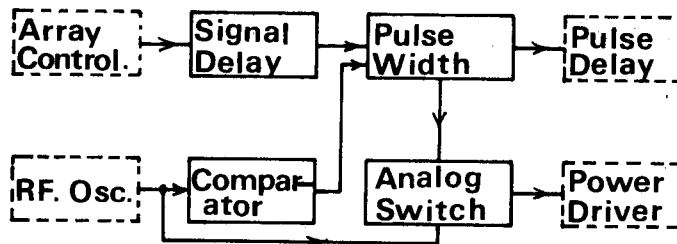


Fig. 4. Block diagram of the device for wave form of the pulsed RF

以上의 各部의 波形을 그림 5에 나타내었다. (1)은 클럭펄스이고, (2), (3)은 리드리레이의 制御

入力펄스波를, (4)는 高周波펄스를, (5)는 受信波와 그의 反射波를, (6)은 同期檢波의 한 波形을, (7)은 샘플홀드의 한 出力波形을, (8)은 A/D 變換用 샘플링펄스(sampling pulse)를 나타낸 것이다.

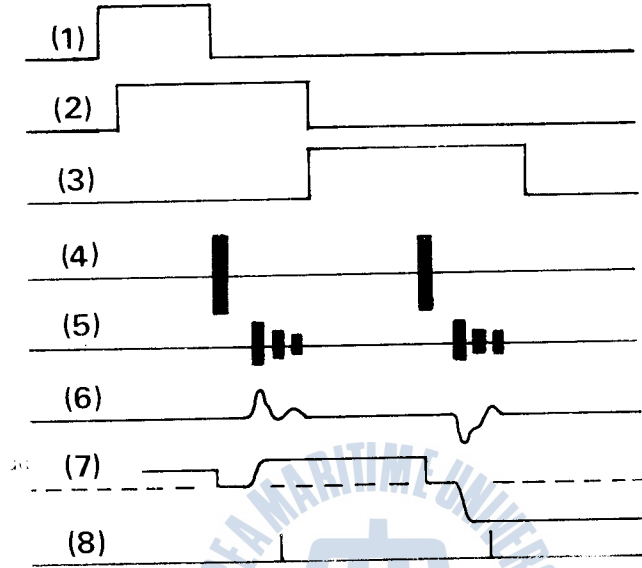


Fig. 5. Wave forms

- (1) Clock pulse
- (2), (3) Controlling pulses for reed relay
- (4) RF pulses from transmitter
- (5) Received & reflected RF pulses
- (6) Output signal of received RF pulses synchronously detected
- (7) Output signal of the sample hold
- (8) Trigger pulses for sampling

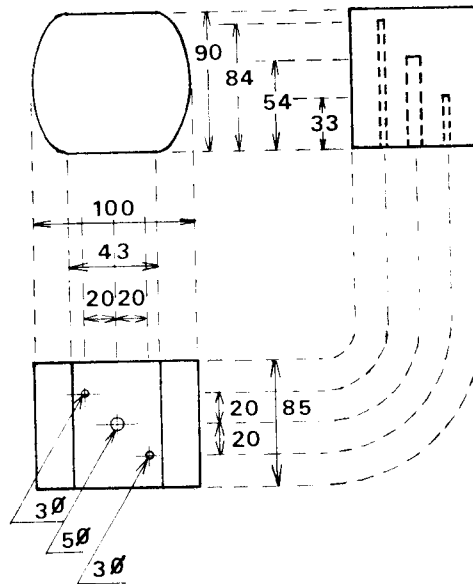


Fig. 6. Object of aluminium with three holes drilled for non-destructive testing.

이들의 各機能은 2個의 리드리레이를 順次的으로 制御한다. 따라서 受信波는 어레이受信子の 配列方向(x 方向)으로 2mm 間隔인 2點에서 受信한다. 이 過程은 受信器의 走査方向(y 方向)으로 1mm 間隔마다 크록펠스를 發生하여 一走査當64回 反復하여 2×64 點에서 受信한 後 어레이受信器를 x 方向으로 每 2mm 移動後 往復8回 反復走査하고, 다시 처음 位置에서 x 方向으로 1mm 移動한 다음 以上の 走査를 反復한다. 그러면 $2 \times 64 \times 2 \times 8 \times 2$, 即 順序는 바뀌어도 x, y 方向의 各 1mm 間隔으로 64×64 點에서 데이터를 取하게 된다. 이들 各點의 受信波는 同期檢波하여 實數 및 虛數部로 分離하여 마이크로計算機(SMP 80/20)에 온라인으로 各各 A/D 變換을 하고, 플로피 디스크(floppy disk)에 記憶시킨다.

(3) 目標物體

本 實驗에서 使用한 目標物體는 그림 6 과 같이 높이 85 mm, 直徑 100 mm 의 알루미늄 막대를 그림과 같이 前後面的 幅을 90 mm 가 되게 깎고, 前面 中心에서 上下, 左右 各各 20 mm 間隔으로 前

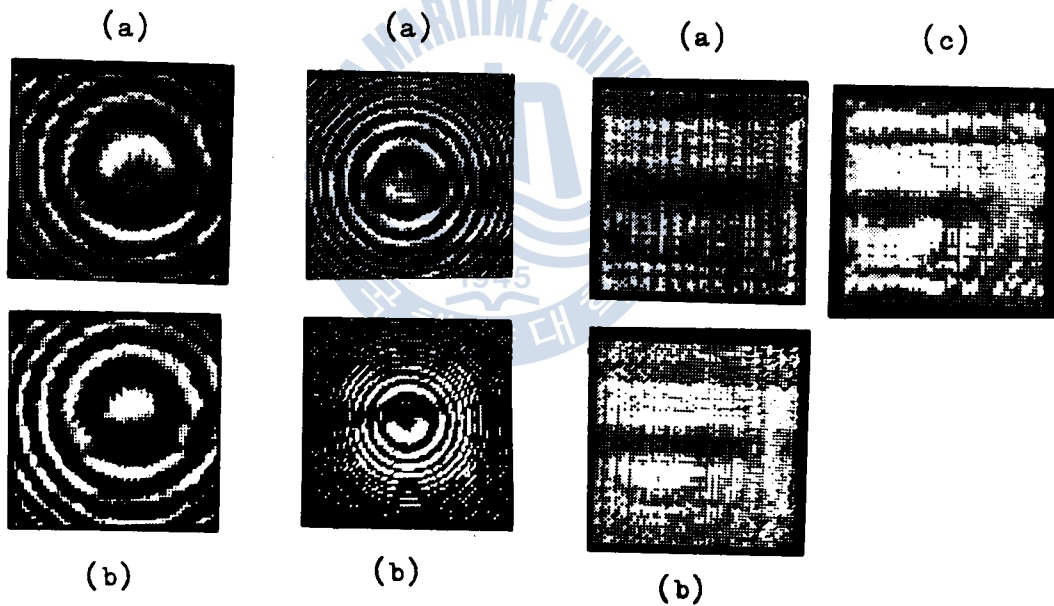


Photo. 1

Photo. 2

Photo. 3

Photo. 1. Ultrasonic holograms obtained by non-destructive testing

- (a) Real part of hologram
- (b) Imaginary part of hologram

Photo. 2. Real part of intermediate processing from the photo. 1

- (a) Processing by the exponential term
- (b) Processing by the inverse Fourier transform

Photo. 3. Reconstructed images

- (a) Focused on upper defect of the object(Fig. 6)
- (b) Focused on middle defect of the object
- (c) Focused on lower defect of the object

面에서 直徑 3 mm, 5 mm 및 3 mm의 구멍을 길이 84 mm, 54 mm 및 33 mm로 뚫어 缺陷을 形成한 것이다.

4. 缺陷像의 再生

후로피 디스크의 複素振幅인 데이터를 미니計算機(YHP 2000)로 傳送한 後 데이터를 測定한 狀態로 位置配列을 바꾸어 CRT에 디스플레이한 것이 寫眞1의 (a)와 (b)이며, 各各 實數部(同相成分)과 虛數部(直交成分)의 홀로그래피이고, 式(5)의 $H(x, y)$ 에 該當한다. 이들 홀로그래피에 양극미늘內的 波長 1.195 mm, 홀로그래피面과 한 缺陷層까지의 거리 42.5 mm, 그리고 홀로그래피의 x, y 의 各座標 0~±31.5 mm의 1 mm間隔에 의한 位相項, 即 式(5)의 $H(x, y)$ 內的 임펄스(impulse)應答의 逆算의 演算을 한 것과, 또 이의 高速푸리에變換(FFT)演算의 實數部만을 寫眞2의 (a) 및 (b)에 나타내었다. 缺陷像의 再生은 다시 이것에 平方의 平方根을 取한 것이 寫眞3의 (b)이고, (a)와 (c)는 홀로그래피面에서 22.5 mm 및 62.5 mm의 各 缺陷面에 焦點을 맞추어 再生한 像이다. 이들 再生像에서 中央의 像이 그림 6의 徑 5 mm, 길이 54 mm인 中央의 缺陷像이고, 上部와 下部의 것이 徑 3 mm인 길이 84 mm 및 54 mm의 各 缺陷像이다. 各 再生像에서 다른 缺陷層의 像도 多少 호리키는 하나 같이 나타나 있다.

5. 結 論

以上에서 어레이受信器를 使用해서 走査에 依한 超音波홀로그래피를 디지털로 處理한 非破壞檢査의 實例를 보였다.

固體인 目標物體와 물의 波長差異關係로 受信器를 物體에 接近시켜 試行하였으므로 式(1)의 近似式이 滿足하지 않은 範圍였고, 또 實際로 物體와 受信器間的 約 1 mm 程度의 물의 影響을 考慮하지 않고 密着한 것으로 看做하여 再生하였음에도 불구하고 再生像에서 缺陷의 面的인 形狀을 比較的 鮮明하게 再生할 수 있었다. 다만 길이方向, 即 홀로그래피面에서의 距離差異에 依한 各 缺陷層間的 分離性이 不充分한 點은 前述한 式(1)이 成立하는 條件에서 데이터를 收集하지 못하였고, 또 物體와 受信器間的 물의 影響을 考慮하지 않은 것도 問題가 되겠지만, 超音波홀로그래피에서 本再生法으로는 길이 方向의 分解能이 良好하지 못한 것으로 看做되며 앞으로 再考해야 할 課題가 될 것이다.

參 考 文 獻

- 1) W.P. Leung, et al: "Non-Destructive Testing with an Electronically Focused Acoustic Imaging system" 1975 Ultrasonic Symposium Proceeding, IEEE Got. #75 CHO 994~4SU, p.84.
- 2) G.S. Kino, et al: "New Acoustic Imaging Systems for Non-Destructive Testing" 1975 Ultrasonics symposium Proceeding, IEEE Got. #75 CHO 994~4SU, p.94.
- 3) 小野澤元久 外: "超音波による非破壊缺陷寸法計精度" 1976 Journal of N.D.I. vol.25, No 9 p.596.

8 1981年 4月 韓國海洋大學論文集 第16輯

- 4) B. B. Brendon: "History and Present status of Liquid Surface acoustical holography", Acoust. Soc. Am., 58, 5(1975) 951~955.
- 5) B. P. Hildebrand & K. A. Haines: "Holography by scanning" J. Opt. Soc. Am., 59(1969) 1-6.
- 6) MOTOROLA INC.: Semiconductor Products (MEK 6800D2) 1977.
- 7) 尾上・石川: 長波長ホログラムの計算機再生, 畫像工學コンファレンス, 3-1 (1973)

